

聴覚の内因性空間的注意に関する研究

著者	寺岡 諒
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	89
号	1
ページ	42-45
発行年	2020-08-31
URL	http://hdl.handle.net/10097/00128971

博士学位論文要約（令和2年3月）

聴覚の内因性空間的注意に関する研究

寺岡 諒

指導教員：坂本修一

A Study on Endogenous Auditory Spatial Attention

Ryo TERAOKA

Supervisor: Shuichi SAKAMOTO

By directing the auditory selective attention to a specific direction (referred as the auditory spatial attention), human listeners can readily extract sounds of interest from distracting sounds. Although this ability is integral in daily human communication, the underlying mechanism is still unknown. The present study aimed to investigate how auditory spatial attention affects listening performance in a daily listening situation. To examine the effect of auditory spatial attention, word intelligibility were measured under the “cocktail party” situation. Results showed that the word intelligibility improves by directing auditory spatial attention to a specific direction where target speech sound is presented. Furthermore, the word intelligibility changes depending on the angular from the focusing direction, and the duration after directing the attention.. These results would reflect the spatial and temporal characteristics of auditory selective attention.

1. 序論

ヒトの周辺環境の把握は、様々な感覚器（例：目、耳）から取得された感覚情報を脳内で処理することによって実現している。しかし、常に周囲の膨大な信号源から発せられる感覚情報を一様に処理することは難しい。この問題に対する効果的方略として、注意による情報の取捨選択が考えられる。ヒトは注意により、その状況で必要な情報に対する処理を促進し、それ以外の情報に対する処理のリソースを削減することで、効率の良い周辺環境の認知を実現している。例えば、騒がしい環境下で特定の会話を聴き取る際、その会話に意識を向けることでその会話の聴き取りが容易になることが知られている（カクテルパーティ効果¹⁾）。特に聴覚は、常に360°様々な方向から発せられ、かつ動的に変化する音響信号を処理していることから、注意による情報の取捨選択がより重要な役割を果たしていることが予想される。しかし、このような営みがどのような情報処理過程によって実現されているのかについては明らかではない。

本論文では、聴覚における特定の方向に対して向けられる注意（空間的注意: auditory spatial attention）に着目した。聴覚における空間的注意は、特定の方向から到来する音に対する情報処理を促進する営みである。この営みは、カクテルパーティ効果のように騒がしい環境下での特定の音を聴き取る状況において、特に重要と思われる。しかし、カクテルパーティ効果が生じることが予想される、複数の話者が比較的狭い

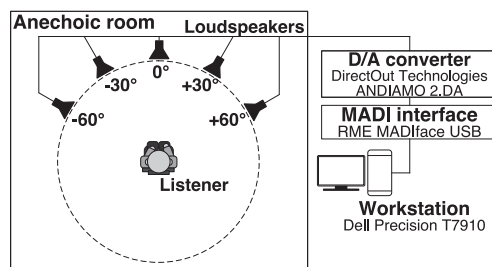


図1. 本章で用いた実験系の概略図

領域内で同時に会話している環境下（カクテルパーティ環境）において、聴覚の空間的注意が特定の会話の聴き取りに及ぼす影響については明らかではない。また、この注意効果の空間的、時間的な特性（注意の空間的範囲、どれくらい持続させられるか等）についても、注意を体系的に理解する上で重要な要素であるにも関わらず、その全容は明らかになっていない。

そこで本論文では、聴覚の空間的注意が競合音存在下での標的音聴取に及ぼす影響とその空間的、時間的な特性を明らかにすることを目的とした。その目的を達成するために、標的音が複数存在する環境を構築し、空間的注意の有無が標的音聴取に及ぼす影響を心理物理学的に検討した。

2. 聴覚の空間的注意の空間特性

本研究ではまず、聴覚的注意の空間特性（注意がどれくらいの範囲に渡って影響を及ぼすか）に関する定量的な検討を行った。前述したように、過去の研究で

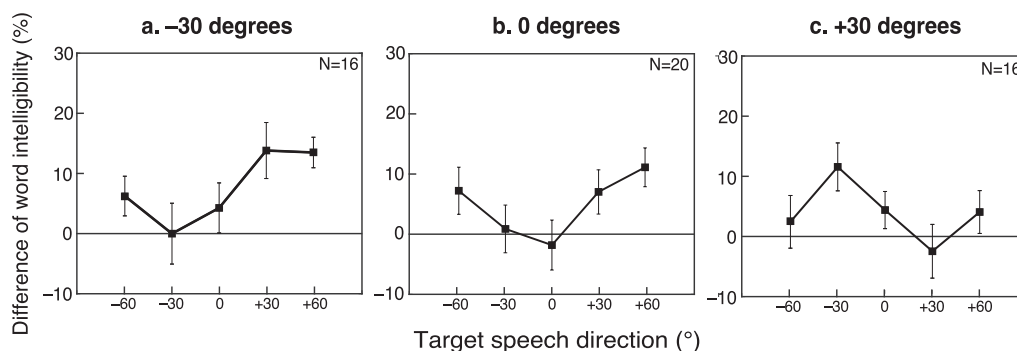


図 2. 0°, ±30° に対する注意の空間特性. a. -30° へ注意を向けた場合, b. 0° へ注意を向けた場合, c. +30° へ注意を向けた場合の結果をそれぞれ示す. 縦軸と横軸はそれぞれ注意効果の大きさと標的音の提示角度を示す.

は、カクテルパーティ環境において空間的注意が標的音の聴き取りに及ぼす影響にやその空間特性は明らかになっていない。この問題を明らかにするため、カクテルパーティ環境を想定した聴取環境を考え、その中で特定の音声を聴き取る際に空間的注意の有無が及ぼす影響を計測した。

実験環境の概略図を図 1 に示す。聴取者の正面方向を 0° として、0°, ±30°, ±60° の方向にラウドスピーカを設置し、そこから同時に音刺激を提示した。音声刺激として、親密度別単語了解度試験用データセット FW03²⁾ に収録されている親密度が高い音声 1000 単語を話す男性音声と女声音声を用いた。実験では、女性音声と男性音声をそれぞれ標的音声、競合音声とした。聴取者には、音声刺激を聴き取った後、聴き取った標的音声を回答するよう求め、聴き取れた割合から空間的注意効果を検討した。標的音声と競合音声は聴取者の頭部位置における A 特性音圧レベル (L_A) が 65 dB になるように設定した。

この実験は、標的音声が表示される方向が事前に教示される条件（方向教示条件）と、事前教示は行わないが、各方向での標的の出現確率を変化させた条件（確率統制条件）の 2 条件から構成された。

方向教示条件では、標的音声が表示される 1000 ms 前に、標的音声が表示されるラウドスピーカから 500 ms のホワイトノイズを提示し、標的音声が表示されるラウドスピーカを教示した。聴取者には、ホワイトノイズが表示された方向から標的音声が表示されること、および、注意をその方向に素早く向けて音声を聴くよう求めた。この条件を 20 単語 × 5 方向 (0°, ±30°, ±60°) で、計 100 試行を行った。

確率統制条件では、標的音声が表示される方向はランダムに設定した。加えて、80% の試行で標的音声を聴取者に注意を向けさせる方向から提示し、残りの 20% はそれ以外の方向から提示した (Probe-signal 法³⁾)。標的音声は注意を向けさせる方向からは 320

単語、それ以外の方向からは各 20 単語（4 方向で計 80 単語）で、計 400 試行を行った。聴取者に注意を向けさせる方向（標的角度）は、0°, ±30° の計 3 方向で、それぞれを方向教示条件と組み合わせて独立に実験を行った。各実験の参加者は、0° では 20 名、+30° では 16 名、-30° では 16 名で、いずれも正常な聴力を有する成人であった。

本実験では、条件によらず生じる、空間に依存した聴き取りの変化（例：物理的な要因によるマスキング解除）を相殺するため、各条件で得られた聴き取り結果の差分を算出し、聴覚的注意の効果を示した。確率統制条件で指定した各標的角度における、標的音声提示方向別の聴覚的注意の効果を図 2 に示す。縦軸と横軸がそれぞれ単語了解度の差（空間的注意効果）と標的音の提示方向を意味し、縦軸の値が 0 に近いほど注意効果が大きいことを示す。実験の結果、全ての標的角度（-30°/0°/+30°）において、標的角度を中心とした空間に依存した効果が見られた。これは、聴覚的注意の空間特性を示しており、最も値が小さい点（注意の焦点）が各標的角度に定位していることから、Probe-signal 法によって注意が標的角度に向けられていることを示唆している。また、結果の概形に着目すると、各標的角度での了解度の差の値が最も 0 に近く（注意効果が大きく）、そこから離れるごとに徐々にその値が上昇する（注意効果が小さくなる）ことを示した。これは、空間的な注意を 0° に向けた場合、カクテルパーティ環境下では、標的角度を中心とした比較的緩やかな注意効果の広がり（注意窓）によって、その方向から到来する音を捉えていることを示唆している。さらに、この空間特性が注意角度によってほぼ同一で、120° 程度の広がりを持つことを示した。これは、正面方向においては、注意をどの方向へ向けると同様の空間特性をもって向けられることを示唆している。

ここまでの実験では、聴取者前方での空間的注意効

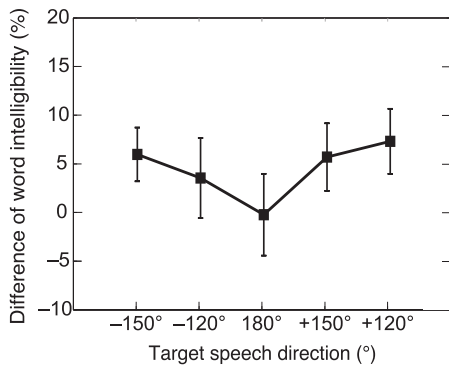


図 3. 180° に対する空間特性. 縦軸と横軸はそれぞれ注意効果の大きさと標的音の提示角度を示す. 値が 0 に近いほど注意効果が大きいことを示す.

果とその空間特性を明らかにした. しかし聴覚では, 360° 様々な方向から発せられる音を知覚できることから, 全周囲での注意効果とその空間特性を明らかにすることが重要である. しかし, 従来の研究では正面に対する注意の様相について焦点を当てたものがほとんどで, 正面以外, 特に後方での空間的注意の様相についてはほとんど明らかになっていない. そこで次の実験では, 真後ろの 180° に対して向けられる空間的注意の様相とその空間特性について検討を行った.

加えて, 180° に対する空間的注意の空間特性を検討した. この実験には, 聴取者として, 正常な聴力をもつ成人 17 名が参加した. 聴取者の真後ろを 180° として, $\pm 120^\circ$, $\pm 150^\circ$, 180° の方向にラウドスピーカを設置し, そこから同時に音刺激を提示した. 実験では, 正面で行った実験と同様の実験デザインを用い, 確率統制条件で 180° に空間的注意が向くよう仕向けた.

実験の結果を図 3 に示す. 実験の結果, 180° へ注意を向けた場合, 180° から離れるに従って徐々に聴き取りが減少していく様相が確認された. さらに, この空間特性について正面と広がりと比較したところ, ほぼ同一で 120° 程度の広がりを持つことを示した. これは, 後方に対して注意を向けた場合も, 正面と同様の空間特性をもって向けられることを示唆している.

3. 聴覚的注意の時間特性

日常生活では, 聴きたい音 (例: 会話) を聞き逃さないために, 注意を素早くその方向へ向ける. その際, その音がどの角度から生じているかを判断するために, 音像定位を行う必要がある. 前節, 実験デザイン (方向指示条件) で考えると, ホワイトノイズが提示された際に, その方向に対する音像定位が行われ,

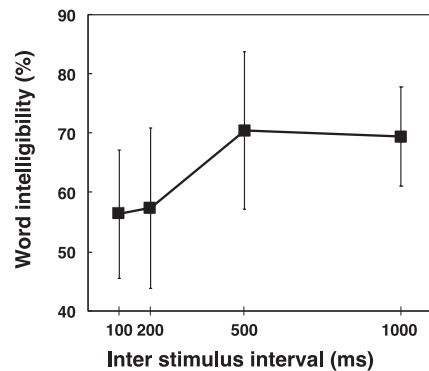


図 4. 聴覚的注意の時間特性. 縦軸と横軸はそれぞれ注意効果の大きさと注意を向けるまでの猶予時間を示す.

その後, その方向に対して注意が移動・固定することで, 聴くための準備が完了する. このような流れを経て, 標的となる音を聴いていることが考えられるが, これまでの実験ではホワイトノイズと標的音の提示間隔が一定であることから, それぞれのプロセスに要する時間 (注意の時間特性) は明らかではない. そこで本実験では, このような注意の時間特性 (経時変化) について検討した.

この実験には, 聴取者として, 正常な聴力をもつ成人 6 名が参加した. 実験では, 聴取者の正面方向を 0° として, 30° ごとに 1 個ずつ, 12 個のラウドスピーカを設置し, 標的音は 0°, $\pm 60^\circ$, $\pm 120^\circ$ の 5 方向に位置するラウドスピーカのうちランダムに選ばれた一つから, 競合音は標的音提示方向の 1 方向を除いた 11 ケ所からそれぞれ同時提示された. 音声刺激として, FW03²⁾ に収録されている親密度が高い音声 1000 単語を話す男性音声と女声音声を用いた. 実験では, 女性音声と男性音声をそれぞれ標的音声, 競合音声とした. 聴取者の頭の中央の位置において, 標的音声および競合音声の A 特性音圧レベル (L_A) がそれぞれ 70 dB, および 65 dB になるように呈示音圧を設定した. 聴取者には, 音声刺激を聴き取った後, 聴き取った標的音声を回答するよう求め, 聴き取れた割合から空間的注意効果を検討した.

実験では, 標的音声提示される一定時間前に, 標的音声呈示されるラウドスピーカから 50 ms のホワイトノイズを呈示し, 標的音声提示されるラウドスピーカを教示した. その注意を向けるまでの猶予 (ISI: 刺激時間間隔) を 4 段階 (100, 200, 500, 1000 ms) の間で変化させることで, 注意を向けるまで, または向けた後の注意効果の変容を検討した.

聴き取りと ISI の関係性を図 4 に示す. 縦軸と横軸はそれぞれ単語理解度と手がかり音の呈示から標的

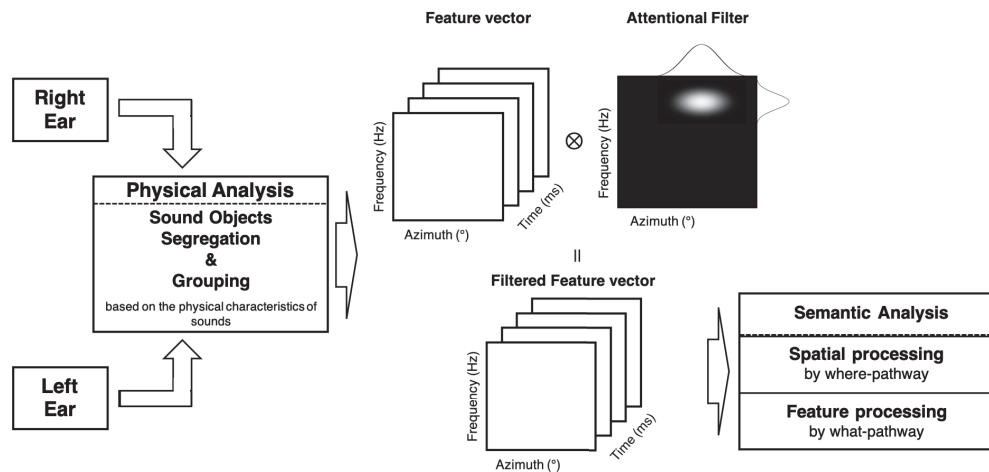


図 5. 本研究の結果を考慮した、競合音存在下での選択的聴取モデルの概念図。

音の呈示までの時間差 (ISI) を示す。この結果、単語理解度は ISI が 500 ms までは単調増加し、500 ms 後は値がわずかに減少することが見て取れる。これは、ISI が 500 ms 周辺に注意効果が最も高い点があることを示している。この結果は、方向の手がかり音となるホワイトノイズが提示されてから、注意を向けて聴くまでの時間的な流れを反映していることが考えられる。これは、音像定位および注意の移動・固定には、500 ms 程度の時間を要することを意味している。

4. 空間的注意モデルの検討

ここまで、聴覚の空間的注意が競合音存在下での標的音聴取に及ぼす影響とその空間的、時間的な特性を明らかにしてきた。本節では、これまでの実験で得られた知見を踏まえ、競合音存在下での音情報処理のメカニズムの全体像を考察する。

本研究で得られた知見を考慮したモデルを図 5 に示す。競合音下での音聴取には「音事象の分離+定位」と「選択的聴取」の 2 つのプロセスによって実現されていることが考えられる。「音事象の分離+定位」では、音の物理的な特性をもとに、各音源から発せられた音事象ごとに分離し定位するプロセスである。そして、「選択的聴取」によって、その分離された音事象の中から、特定の音事象を選択的に聴取し、その意味分析を行っている。本研究で明らかにしたのは、特定の音事象を選択的に聴き取る際の特性についてである。

「選択的聴取」プロセスは、特定の音事象のみを選び取るプロセスであり、耳入力信号に対するフィルタ処理、フィルタは注意窓とそれぞれ捉えられる。そして、「音事象の分離+定位」のプロセスによって得られた信号に対してフィルタの畳み込みを行うことで、

カクテルパーティ環境下での安定した聴き取りを実現していることが考えられる。この点については、今後さらなる検討が必要であると思われる。

5. 結論

本論文では、心理物理学的指標を用いて、空間的注意が競合音存在下での標的音聴取に及ぼす影響とその空間的、時間的な特性を検討した。その結果、(1) 空間的注意は注意角度を中心として左右 60° 程度の広がりをもって向けられ、注意を向ける方向による差異 (方位依存性) がないこと、(2) 音像定位を始めてから聴き取りの準備ができるまで (音像定位および注意の移動・固定) に 500 ms 程度要することが明らかになった。そして、以上の知見を踏まえて、カクテルパーティ環境下での音声聴取のモデルを考察した。

本論文で焦点を当てたカクテルパーティ効果は、騒がしい環境下で特定の音を聴き取るという、日常のコミュニケーションに直結する営みである。よって本研究で得られた知見は、カクテルパーティ効果の情報処理過程の全容解明、およびその知見を基盤とした、高臨場感システムにおける効果的な刺激提示や、聴きたい音を選択的に聴くことができるスマート補聴器の開発などに資するものと期待される。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 19H0111, 16KT0100, 18J13203 の助成を受けたものです。

文献

- 1) E.C. Cherry, J. Acoust. Soc. Am., **25** (1953) 975–979.
- 2) Speech resources consortium, <http://research.nii.ac.jp/src/FW03.html>.
- 3) G.Z. Greenberg, & W.D. Larkin, J. Acoust. Soc. Am., **44** (1968) 1513–1523.